

有色同步网及其在工作流过程建模中的应用

王珂, 熊璋

(北京航空航天大学计算机学院, 北京 100083)

摘要: 结合有色 Petri 网相关理论, 提出有色同步网的概念, 并应用其建立一个工作流过程模型——有色逻辑网 (CL_net)。通过一个具体实例介绍了使用有色逻辑网模型描述业务流程的方法, 同时采用绘制可达图的方法分析了业务流程的合理性, 进一步说明了模型的实用性和可推广性。

关键词: 工作流; 工作流过程建模; Petri 网; 有色同步网; 有色逻辑网

Colored Synchronized-nets and Its Application in Workflow Process Modeling

WANG Ke, XIONG Zhang

(School of Computer, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083)

【Abstract】 The concept of colored synchronized-nets is proposed on basis of colored petri-nets, and a workflow process model named colored logic-nets (CL_net) is constructed according to colored synchronized-nets. A concrete instance is introduced to describe the methodology of process description using CL_net, and to show the practicability and popularizability of CL_net, reachability graph is employed to analyze the feasibility of the process.

【Key words】 Workflow; Workflow process modeling; Petri-nets; Colored synchronized-nets; Colored logic-nets

随着工商业现代化的高速发展, 科学技术已成为各大企业提高生产效率, 缩短生产周期的主要手段。工作流正是为了解决企业业务流程及其管理自动化这一问题而引入的计算机理论和技术。按照工作流管理联盟 (Workflow Management Coalition, WfMC) 的定义, 工作流是业务流程的全部或部分自动化^[1]。自动化的实现需要将现实世界中的业务过程抽象出来, 并用一种形式化的、计算机可处理的方式来表示, 这一形式化的过程就是工作流建模, 形式化的结果称为工作流模型。工作流模型应包括过程模型、组织模型、数据模型等^[2], 本文主要讨论过程模型的建立, 即工作流过程建模。所提出的有色同步网以及采用有色同步网进行的工作流过程建模, 都是以 Petri 网为理论基础的。

1 同步网简介

在运用 Petri 网进行工作流建模方面, 很多国内外的专家已经开展了大量研究工作。文献[3]中提出了同步网的概念, 清晰地表达了业务流程中任务及任务之间的依赖关系, 下面简要介绍同步网 (Syn_net)。

定义 1 (同步网)^[3]: 加权有向图 $WN = (P, T; F, K, W)$ 称为同步网, 简称 Syn_net, 如果 $(P, T; F)$ 为有限有向网, 而且:

$$\begin{aligned}
& (\forall t \in T : \bullet t \neq \emptyset \wedge t^* \neq \emptyset) \\
& \wedge (\forall p \in P : \\
& \quad \bullet p \neq \emptyset \wedge p^* \neq \emptyset \\
& \quad \Rightarrow p = (T_1, T_2, (a_1, a_2))) \\
& \wedge (|\{p \mid \bullet p = \emptyset\}| = 1) \\
& \wedge (F^+ \cap (F^{-1})^* = \emptyset) \\
& \wedge (\forall p \in P : \\
& \quad \bullet p = \emptyset \vee p^* = \emptyset \Rightarrow K(p) = 1 \\
& \quad \wedge \forall t \in \bullet p : W(t, p) = 1 \\
& \quad \wedge \forall t \in p^* : W(p, t) = 1)
\end{aligned}$$

其中, $p = (T_1, T_2, (a_1, a_2))$ 表示 p 为同步器, 且 $T_1 = \bullet p$,

$T_2 = p^*$, $K(p) = a_1 \times a_2$, 若 $\bullet p \neq \emptyset \wedge p^* \neq \emptyset$, 则 p 必须是同步器。同步器的定义如图 1 所示, 同步器 $p = (T_1, T_2, (a_1, a_2))$, $T_1 = \{t_{11}, \dots, t_{1m_1}\}$, $T_2 = \{t_{21}, \dots, t_{2m_2}\}$, $1 \leq a_1 \leq |T_1|$, $1 \leq a_2 \leq |T_2|$, 且 $\forall t \in \bullet p : W(t, p) = a_2 \wedge \forall t \in p^* : W(p, t) = a_1$, 表示从 T_1 中选 a_1 个任务执行, 执行后可授权 T_2 中 a_2 个任务执行。

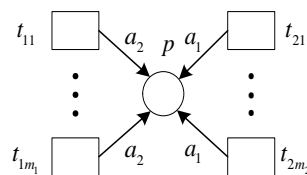


图 1 同步器

同步器的设计非常巧妙, 它使用统一的形式描述了工作流模式中的大多数汇聚和分支模式^[4,5], 同时由于全部流程逻辑控制由同步器来实现, 而变迁所代表的全部是流程中的任务, 这就解决了在 Aalst 的 WF_net^[4] 模型中逻辑与语义以及任务与任务之间依赖关系上的混乱。

2 有色同步网 (CS_net)

本文所提出的工作流过程模型汲取了同步网设计上的优点, 同时为了体现变迁所产生的 token 携带与当前任务相关的信息这一事实, 引入有色 Petri 网的概念方法。下面就给出

作者简介: 王珂 (1981 -), 男, 硕士生, 主研方向: 工作流技术, 多媒体技术和网络技术等; 熊璋, 教授、博导

收稿日期: 2006-03-15 **E-mail:** wkgenius@gmail.com

有色同步网的定义。

定义 2

$(P, T; F, C, K_s, K_c, W, M_0)$ 称为有色同步网 (CS_net)

的充分必要条件是：

(1) $(P, T; F)$ 为有向网，称为 的基网。

(2) $C: P \cup T \rightarrow \rho(D)$ ， $\rho(D)$ 为颜色集 D 之幂集合，且存在函数 $f: T \rightarrow D$ 为单射，使得：

1) 对 $t \in T$ ， $C(t) = f(t)$ 。即 t 的出现色为以 t 为标识的一个颜色。

2) 对 $p \in P$ ， $C(p)$ 是库所 p 上所有可能的 token 色 (资源类) 之集合。

(3) $K_s: P \rightarrow \mathbb{N}$ ，称为同色容量函数，代表库所所能容纳的同一颜色 token 的最大数量，其中 $\mathbb{N} = \{1, 2, 3, \dots\}$ 。

(4) $K_c: P \rightarrow \mathbb{N}$ ，称为颜色容量函数，代表库所所能容纳的最大颜色数。

(5) $W: F \rightarrow \mathbb{N}$ ，为 \mathbb{N} 上的权函数。

(6) $(\forall t \in T: \cdot t \neq \emptyset \wedge t \cdot \neq \emptyset)$

$\wedge (\forall p \in P:$

$\cdot p \neq \emptyset \wedge p \cdot \neq \emptyset \Rightarrow p = (T_1, T_2, (a_1, a_2)))$

$\wedge (|\{p | \cdot p = \emptyset\}| = 1)$

$\wedge (F^+ \cap (F^{-1})^+ = \emptyset)$

$\wedge (\forall p \in P: \cdot p = \emptyset \vee p \cdot = \emptyset \Rightarrow K_s(p) = 1)$

$\wedge K_c(p) = 1 \wedge \forall t \in \cdot p: W(t, p) = 1$

$\wedge \forall t \in p \cdot: W(p, t) = 1)$

$\wedge (\forall p \in P:$

$p \cdot = \emptyset \Rightarrow |\cdot p| = 1 \wedge \forall t \in \cdot p: |t \cdot| = 1)$

(7) $M_0: P \rightarrow D_{MS}$ ，为有色同步网的初始标识。

其中 $p = (T_1, T_2, (a_1, a_2))$ 表示 p 为有色同步器。有色同步器与 Syn_net 中定义的同步器外观相同 (如图 1)，只是有色同步器中的 token 为有色 token。

由 C 的定义可知，不同变迁产生的 token 具有不同的颜色，而其产生的颜色由该变迁所标识。

$F^+ \cap (F^{-1})^+ = \emptyset$ 表明 CS_net 中不存在有向环。

$|\{p | \cdot p = \emptyset\}| = 1$ 表明只有一个前集为空的库所，成为入口库所。由于 CS_net 是无环有限网，且 $\forall t \in T: \cdot t \neq \emptyset \wedge t \cdot \neq \emptyset$ ，因此必有 p ， $p \cdot = \emptyset$ ，这种库所成为终点库所。终点库所不一定唯一。

$\forall p \in P: p \cdot = \emptyset \Rightarrow |\cdot p| = 1 \wedge \forall t \in \cdot p: |t \cdot| = 1$ 规定，对于任何终点库所，有且仅有一个变迁与其相连，而对于与终点库所相连的变迁，其后集也仅有一个库所，即终点库所。

这里的 M_0 的定义与有色网系统^[3]中的定义相同，是颜色集合 D 上的多重集^[3]。由有色同步器的定义可知，其中相同颜色的 token 的数量应该是一样的，因此可以将 $M(p)$ 以有序偶 $\langle n, A \rangle$ 的形式表示，其中 n 为同一颜色的 token 的数量， A 为 p 中 token 颜色的集合。

以上给出了有色同步网的静态特征，下面定义变迁发生条件和变迁发生后果。

设 M 为 $CS_net = (P, T; F, C, K_s, K_c, W, M_0)$ 上的任一标识，对于 $p \in P$ ， $M(p)$ 记作 $\langle n_p, A_p \rangle$ ， $t \in T$ 为任一变迁。

定义 3 (变迁发生条件)

t 在 M 下有发生权的条件是：

$$(\forall p \in \cdot t: (n_p \geq 1 \wedge |A_p| \geq W(p, t)))$$

$$\wedge (\forall p \in t \cdot: (n_p + W(t, p) \leq K_s(p) \wedge |A_p| + 1 \leq K_c(p)))$$

t 在 M 下有发生权记作 $M[t >]$ 。

定义 4 (变迁发生后果)

若 $M[t >]$ ，则 t 在 M 中可以发生，将标识 M 改变为 M 的后继 M' ，对于 $p \in P$ ， $M(p)$ 记作 $\langle n_p, A_p \rangle$ ， $M'(p)$ 记作 $\langle n'_p, A'_p \rangle$ ， M' 的定义是：对 $\forall p \in P$ ，

$$n'_p = \begin{cases} n_p - 1 & \text{若 } p \in \cdot t \\ W(p, t) & \text{若 } p \in \cdot t \wedge n_p = 0 \\ n_p & \text{若 } (p \notin \cdot t \cup t \cdot) \vee (p \in t \cdot \wedge n_p \neq 0) \end{cases}$$

$$A'_p = \begin{cases} \emptyset & \text{若 } p \in \cdot t \wedge n_p \leq 1 \\ A_p \cup \{C(t)\} & \text{若 } p \in t \cdot \\ A_p & \text{若 } (p \notin \cdot t \cup t \cdot) \vee (p \in \cdot t \wedge n_p > 1) \end{cases}$$

M' 为 M 之后继的事实记作 $M[t > M']$ 。

3 有色逻辑网模型 (CL_net)

上面定义了有色同步网的静态结构以及动态特性，本文的工作流过程模型以有色同步网为基础，并根据工作流程的一些特性在有色同步网上层进行工作流过程建模。

定义 5 $\prec \bullet$ 称为 CS_net 中变迁的后继关系，如果 $\prec \bullet = \{(t, t') | t, t' \in T \exists p \in P: t \in \cdot p \wedge t' \in p \cdot\}$ 。

文献[3]中描述了变迁后继关系的传递性会在网络中引入多余的 token。因而，基于对业务正确性和优化性能考虑，在工作流逻辑中， $\prec \bullet$ 关系不应具有传递性。

综上所述，下面给出有色逻辑网的定义。

定义 6 (有色逻辑网) $CL_net = (P, T; F, C, K_s, K_c, W, M_0)$

称为有色逻辑网，如果 CL_net 为有色同步网，且对于该有色同步网上的 $\prec \bullet$ 关系， $\prec \bullet \prec \bullet^2 = \emptyset$ ，且 $(T, \prec \bullet)$ 为连通图。

$$\forall p \in P: (\cdot p = \emptyset \Rightarrow M_0(p) = \langle 1, 1 \rangle) \wedge (\cdot p \neq \emptyset \Rightarrow M_0(p) = \langle 0, 0 \rangle)$$

其中， $\prec \bullet \prec \bullet^2 = \emptyset$ 表示 CL_net 上的后继关系不存在传递性，第 2 个条件则规定了在初始状态下，只有入口库所中含有 1 个 token，其他库所中均不含 token。

到目前为止，过程模型已经基本建立，但仍存在两点问题：(1) 循环的处理问题；(2) 对异步事件的处理问题。下面逐条分析并给出解决办法。

首先，由于有色同步网规定了网络中不存在有向环，而实际的流程中循环是必需的。在 CL_net 中，引入子过程的概念来处理循环。循环子过程用图 2(a) 中符号表示。对外部来说，循环子过程只有一个输入和一个输出，并且输入和输出都只有一个 token，在内部，它是一个独立的有色同步网。循环子过程含有一个 condition 元素，为一个逻辑表达式，它的值为任务要达到的预期指标。当循环子过程开始执行时，系统缓存子过程的输入 token，循环子过程结束时，如未达到预期指标，系统以缓存的 token 为输入 token 重新执行该子过程，直到达到指标。

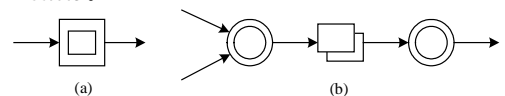


图 2 子过程

其次,异步过程在实际的业务流程中也是经常出现的(如 workflow 模式^[4,5]中的 Multiple Merge 模式),而有色同步网的设计为异步过程的实现带来了麻烦。由于有色同步网每个终端库所只有一个输入变迁,就是说无论流程如何,任务在结束之前都是要进行同步汇总的。我们用如图 2(b)中的结构表示异步结构,称为异步器。异步器由 3 部分构成,左侧的同心圆表示可异步过程的开始,称为异步入口,右侧的同心圆则是该过程的结束,称为异步终点,中间是一个可以异步执行的子过程,称为异步子过程,异步子过程为一个独立的有色同步网。异步入口有多个输入变迁,每个输入变迁执行后都可以开始异步子过程的执行,而不必等待其他输入变迁的完成。所有这些异步执行的子过程,都会在异步终点进行同步汇聚。

异步器的引入会给流程的设计提供便利,但在运行处理阶段,它不符合同步网的结构特性。因此,在具体流程编译阶段,采用化异步为同步的方法。即将同步子过程的具体流程结构分别结合到异步器输入变迁相对应的通路中去。如图 3 中,图 3(a)为带异步器的流程图片断,图 3(b)为异步子过程的流程图,图 3(c)则为经过同步化的流程图。

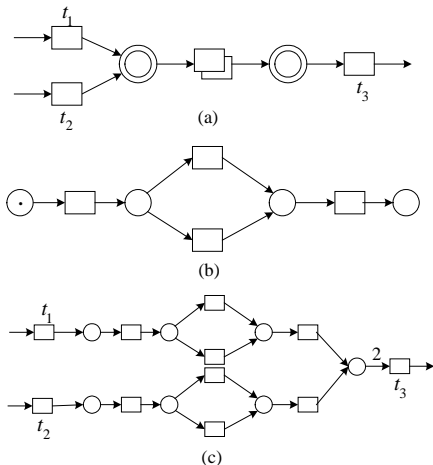


图 3 异步过程同步化示例

4 业务实例及合理性分析

下面以保险索赔的业务流程为例^[3,6],介绍使用有色逻辑网进行业务建模的过程。

根据保险索赔流程建立的流程模型如图 4 所示,图 4 中所有为 1 的权值都已省略不标。图 4 中, t_1 代表“接受赔付申请”, t_2 和 t_3 分别代表“检查险种”和“检查索赔依据”, t_4 代表“发拒赔信”, t_5 代表“进行赔付”。

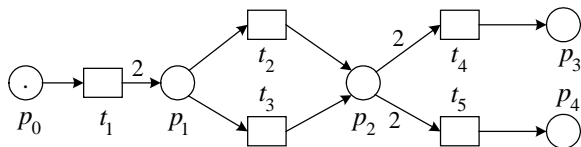


图 4 保险索赔流程

可以看出,经过处理,索赔受理过程只可能产生两种结果,即“赔付”与“拒赔”,而不同的结果是由具体的案例所决定的。下面就用 Petri 网的相关理论进行分析。

用 Petri 网对流程进行分析最有效且直观的方法之一就是构建其可达图,根据传统 P/T_系统可达图的构建方法,再结合有色逻辑网的情态定义和变迁规则,即可以实现有色逻辑网可达图的构造算法。图 5 给出根据该算法构造出的图 4

中业务流程的可达图。

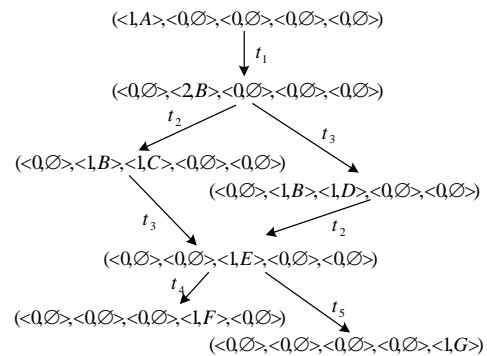


图 5 保险索赔流程可达图

图 5 中 $A=\{C_0\}$, $B=\{C(t_1)\}$, $C=\{C(t_2)\}$, $D=\{C(t_3)\}$, $E=\{C(t_2), C(t_3)\}$, $F=\{C(t_4)\}$, $G=\{C(t_5)\}$, 图 5 中死节点只有 2 种状态,即 $(\langle 0, \emptyset \rangle, \langle 0, \emptyset \rangle, \langle 0, \emptyset \rangle, \langle 1, F \rangle, \langle 0, \emptyset \rangle)$ 和 $(\langle 0, \emptyset \rangle, \langle 0, \emptyset \rangle, \langle 0, \emptyset \rangle, \langle 0, \emptyset \rangle, \langle 1, G \rangle)$, 这两种状态分别代表 p_3 中有一个 token, 其他库所中均没有 token 和 p_4 中有一个 token, 其他库所中均没有 token, 所以,从分析可知,业务流程只可能有“赔付”和“拒赔”两种可能的结果,并且流程中不含多余信息。

5 结束语

本文通过对 Petri 网的扩展,提出有色同步网的概念,并介绍了一种基于有色同步网的工作流过程模型——有色逻辑网。该模型拥有严格的形式化数学定义,并利用成熟的 Petri 网分析方法对流程定义进行合理性分析。有色逻辑网将业务流程中任务和任务之间的依赖关系清晰地划分开,利用它进行业务流程描述,实现了逻辑结构与任务实现的分离,使流程结构设计不必依赖于任务的实现方式,设计起来更加灵活,同时也提高了任务实现模块的可重用性,更有利于业务的扩展与重组。

参考文献

- 1 WfMC. TC00-1003-1995 Workflow Management Coalition: The Workflow Reference Model[S]. 1995-01.
- 2 李红巨, 史美林. 工作流模型及其形式化描述[J]. 计算机学报, 2003, 26(11).
- 3 袁崇义. Petri 网原理与应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.
- 4 Aalst W M P, Hofstede A H M, Kiepuszewski B, et al. Advanced Workflow Patterns[C]// Proc. of the 7th International Conference on Cooperative Information Systems. Berlin: Springer-Verlag, 2000.
- 5 Aalst W M P. The Application of Petri Nets to Workflow Management [J]. Journal of Circuits, Systems, and Computers, 1998, 8(1): 21-66.
- 6 Aalst W, Hee K. Workflow Management——Models, Methods and Systems [M]. MIT Press, 2002-01.
- 7 李建强, 范玉顺. 一种工作流模型的性能分析方法[J]. 计算机学报, 2003, 26(5).
- 8 郑继川, 胡正国, 杨冬菊, 等. 基于 Petri 网的工作流建模与分析 [J]. 计算机工程, 2003, 29(5).
- 9 陈翔, 夏国平. 基于着色 Petri 网的工作流建模与合理性分析[J]. 计算机集成制造系统-CIMS, 2004, 10(4).
- 10 王培龙, 刘文远. 基于 Colored Petri 网的工作流建模及应用[J]. 计算机工程, 2004, 30(18).
- 11 陈翔, 夏国平, 李涛. 基于 Petri 网的工作流模型合理性研究 [J]. 北京理工大学学报, 2004, 24(12).
- 12 蒋国银, 何跃. 基于高级对象 Petri 网的工作流过程建模研究 [J]. 系统工程理论与实践, 2005, 25(3).